

Tobias Diekmann

# Montagegerechte Standardisierung von Bauteilschnittstellen für die variantenreiche Automobilproduktion



**RWTH**AACHEN  
UNIVERSITY



# Montagegerechte Standardisierung von Bauteilschnittstellen für die variantenreiche Automobilproduktion

## Assembly-Compatible Standardisation of Component Interfaces for Multi-Variant Automotive Production

Von der Fakultät für Maschinenwesen  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen  
zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Tobias Manuel Diekmann

### **Berichter/in:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker, MBA  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler

Tag der mündlichen Prüfung: 15. September 2021



# ERGEBNISSE AUS DER ELEKTROMOBILPRODUKTION

**Tobias Diekmann**

Montagegerechte Standardisierung von Bauteilschnittstellen für die variantenreiche Automobilproduktion

**Herausgeber:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker, MBA

Band 18



**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

Tobias Diekmann:

Montagegerechte Standardisierung von Bauteilschnittstellen für die variantenreiche Automobilproduktion

1. Auflage, 2021

Apprimus Verlag, Aachen, 2021

Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien  
an der RWTH Aachen

Steinbachstr. 25, 52074 Aachen

Internet: [www.apprimus-verlag.de](http://www.apprimus-verlag.de), E-Mail: [info@apprimus-verlag.de](mailto:info@apprimus-verlag.de)

ISBN 978-3-98555-022-7

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2021)

## Zusammenfassung

Im Zuge des Trends der Individualisierung haben Automobilhersteller die Anzahl der angebotenen Produktmodelle und zugehöriger Bauteilvarianten erhöht. Die Montage ist innerhalb der Automobilproduktion der Bereich, in dem eine hohe Variantenvielfalt auftritt. Hier lassen sich Kostensenkungspotenziale erschließen, selbst wenn unterschiedliche Bauteile gefügt werden. Eine zentrale Rolle kommt hierbei der Standardisierung von mechanischen Schnittstellen zwischen Bauteilen zu. Die Herausforderung einer systematischen und produktübergreifenden Standardisierung von Bauteilschnittstellen, um im Kontext einer variantenreichen Automobilproduktion die Kommutalität in Montageprozessen zu steigern, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit adressiert.

Aufgrund der Vielzahl an Bauteilschnittstellen werden in einem ersten Schritt potenzialträchtige Umfänge anhand von Kennzahlen identifiziert. Die Grundlage hierfür bildet die Quantifizierung der Variantenvielfalt von Bauteilschnittstellen und Montageprozessen, die mittels einer Clusteranalyse ermittelt wird. Anschließend werden die technischen und betriebswirtschaftlichen Zusammenhänge der Standardisierung einer Schnittstelle und die zugehörigen Bauteile und Montageprozesse anhand eines generischen Modells beschrieben. Auf dieser Basis ermöglicht ein Branch-and-Bound-Algorithmus eine Ermittlung und Bewertung von Standards und bringt dadurch Transparenz in die Entscheidungssituation.





## **Abstract**

In the course of the trend towards individualisation, car manufacturers have increased the number of product models offered and the associated component variants. Within automotive production, assembly is the area where a high number of variants occurs. Cost-cutting potential can be tapped here, even if different components are joined. The standardisation of mechanical interfaces between components plays a central role here. The challenge of a systematic and cross-product standardisation of component interfaces in order to increase the commonality in assembly processes in the context of a multi-variant automotive production is addressed in this thesis.

Due to the large number of component interfaces, the first step is to identify potential scopes on the basis of key figures. The basis for this is the quantification of the variety of component interfaces and assembly processes, which is determined by means of a cluster analysis. Subsequently, the technical and economic correlations of the standardisation of an interface and the associated components and assembly processes are described using a generic model. On this basis, a branch-and-bound algorithm makes it possible to determine and evaluate standards and thus brings transparency to the decision-making situation.



# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit bei der BMW Group. Für die Schaffung der dafür notwendigen Rahmenbedingungen im Unternehmen und die umfassende Unterstützung bin ich Herrn Dr. Lutz Frick sehr dankbar. Wesentliche Beiträge für die Arbeit lieferten meine Kolleginnen und Kollegen aus dem Bereich der technischen Integration. Durch das kollegiale und offene Umfeld wurde meine Arbeit maßgeblich geprägt. Besonders hervorheben möchte ich die Unterstützung durch Herrn Dr. Gabriel Tokar, der mich stets konstruktiv-kritisch gefördert hat und damit einen wesentlichen Beitrag für das Gelingen der Arbeit geleistet hat.

Die Dissertation hätte nicht ohne die Unterstützung von Menschen an der RWTH Aachen entstehen können. Ich empfinde große Dankbarkeit für die Hilfe, die ich im spannenden und zugleich herausfordernden Promotionsprozess erfahren durfte.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Achim Kampker für die Betreuung der Arbeit und die Möglichkeit der Promotion. Darüber hinaus danke ich Frau Professorin Iris Gräßler und Frau Professorin Verena Nitsch für die Übernahme des Koreferates und des Vorsitzes meiner Promotionsprüfung sowie Herrn Professor Peter Burggräf für die Unterstützung meiner Arbeit. Für die angenehme Zusammenarbeit und die wertvollen Impulse gilt mein Dank Herrn Sebastian Kawollek.

Zum Erfolg beigetragen haben engagierte Studierende im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten. Großer Dank gilt Herrn Andreas Martin, insbesondere für die Diskussionen mit ihm, die maßgeblich zum Lösen von herausfordernden Problemstellungen beigetragen haben. Besondere Unterstützung kam von Herrn Claudius von Heereman. Dankend hervorheben möchte ich ebenso Herrn Kevin Baumüller, Herrn Johannes Jacoby, Herrn Steffen Eich und Frau Elisabeth Pröpster.

Mein größter Dank gebührt meiner Familie. Vor allem danke ich meinen Eltern Elisabeth und Josef sowie meinem Bruder Daniel für ihre mittelbare und unmittelbare, stets liebevolle Unterstützung, sie waren immer und jederzeit für mich da. Insbesondere die aufmerksamen Durchsichten von Elisabeth waren für mich eine unschätzbare große Hilfe. Lea danke ich ganz besonders für den liebevollen Rückhalt während der Zeit meiner Arbeit. Ohne den Beistand meiner Familie wäre die vorliegende Arbeit nicht möglich gewesen.

München, im Oktober 2021

Tobias Diekmann



# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der Tabellen.....</b>	<b>VII</b>
<b>Verzeichnis der Abbildungen.....</b>	<b>IX</b>
<b>Verzeichnis der Abkürzungen.....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	3
1.3 Konzeption des Forschungsprozesses.....	4
1.4 Aufbau der Arbeit.....	7
<b>2 Grundlagen der Gestaltung standardisierter Bauteilschnittstellen.....</b>	<b>9</b>
2.1 Bauteilschnittstellengestaltung.....	9
2.1.1 Bauteil, Bauteilschnittstelle und Verbindung.....	9
2.1.2 Produktstrukturierung.....	13
2.2 Montageprozessgestaltung.....	16
2.2.1 Montage und Fügen.....	16
2.2.2 Automobilmontage.....	18

2.2.3	Produktionsfaktoren .....	21
2.3	Integrative Betrachtung von Bauteilschnittstellen und Montageprozessen .....	21
2.4	Standardisierung.....	23
2.4.1	Variante und Variantenvielfalt .....	24
2.4.2	Standardisierung und Kommunalitätsmanagement .....	25
2.4.3	Standardisierung in der Automobilindustrie .....	29
2.5	Charakterisierung einer montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen.....	32
2.5.1	Merkmale und Definition einer montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....	33
2.5.2	Standardisierungsansätze für Bauteilschnittstellen .....	36
2.5.3	Potenziale einer montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....	37
<b>3</b>	<b>Bestehende Ansätze zur montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....</b>	<b>39</b>
3.1	Herausforderungen in der Praxis.....	39
3.2	Darstellung und Bewertung bestehender Ansätze.....	42
3.2.1	Kriterien zur Bewertung bestehender Ansätze .....	42
3.2.2	Bestehende Ansätze .....	43
3.2.3	Zusammenfassung und Positionierung der Arbeit .....	58
3.3	Zwischenfazit: Ableitung des resultierenden Forschungsbedarfs .....	60
<b>4</b>	<b>Konzeption der Methodik zur montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....</b>	<b>61</b>
4.1	Anforderungen an die Methodik .....	61

4.1.1	Inhaltliche Anforderungen .....	61
4.1.2	Formale Anforderungen .....	63
4.2	Grobkonzept zur montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....	64
4.2.1	Identifikation potenzialträchtiger Bauteilschnittstellen-/ Montageprozessumfänge .....	66
4.2.2	Formalisierung der Entscheidungssituation .....	67
4.2.3	Ermittlung und Bewertung von Standardisierungsmöglichkeiten .....	68
4.3	Ableitung von Teilmodellen .....	69
4.4	Zwischenfazit: Grobkonzept zur montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....	71
<b>5</b>	<b>Detaillierung der Methodik zur montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen.....</b>	<b>73</b>
5.1	Identifikation potenzialträchtiger Bauteilschnittstellen-/ Montageprozessumfänge .....	74
5.1.1	Definition des Betrachtungsumfangs.....	75
5.1.2	Relevante Einflussfaktoren zur Standardisierungsentscheidung .....	79
5.1.3	Bewertung der Einflussfaktoren hinsichtlich einer Kennzahlenbildung .....	82
5.1.4	Kennzahlen zur Quantifizierung der Variantenvielfalt .....	86
5.1.5	Weitere Kennzahlen.....	101
5.1.6	Auswahl von potenzialträchtigen Bauteilschnittstellen-/ Montageprozessumfängen anhand der Kennzahlen .....	102
5.2	Formalisierung der Entscheidungssituation.....	108
5.2.1	Abgrenzung von Problem-, Eingriffs- und Lösungsbereich	109

5.2.2	Beschreibungsmodell zur Klassifikation von Bauteilschnittstellen .....	110
5.2.3	Beschreibungsmodell zur Klassifikation von Montageprozessen .....	117
5.2.4	Formalisierung der Zusammenhänge als Klassendiagramm	121
5.3	Ermittlung und Bewertung von Standardisierungsmöglichkeiten.....	123
5.3.1	Erweiterung des Klassendiagramms zur Abbildung von Standardisierungsmöglichkeiten .....	124
5.3.2	Algorithmus zur Ermittlung und Bewertung von Standardisierungsmöglichkeiten .....	125
5.3.3	Festlegung zu standardisierender Bauteilschnittstellen .....	134
5.4	Prozessmodell zur montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen.....	136
5.5	Zwischenfazit: Detailkonzept .....	140
<b>6</b>	<b>Validierung und kritische Reflexion .....</b>	<b>143</b>
6.1	1. Fallbeispiel: BMW Group .....	143
6.1.1	Ausgangssituation .....	143
6.1.2	Anwendung der montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....	144
6.1.3	Kritische Reflexion der Anwendungserfahrung.....	149
6.2	2. Fallbeispiel: Bauteilschnittstelle Außenspiegel.....	150
6.2.1	Ausgangssituation .....	150
6.2.2	Anwendung der montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....	151
6.2.3	Kritische Reflexion der Anwendungserfahrung.....	155
6.3	3. Fallbeispiel: Bauteilschnittstelle Steuergerät.....	156



---

6.3.1	Ausgangssituation .....	157
6.3.2	Anwendung der montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....	157
6.3.3	Kritische Reflexion der Anwendungserfahrung .....	163
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>165</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>171</b>
<b>A</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>187</b>
A.1	Einflussfaktoren zur Standardisierungsentscheidung.....	187
A.2	Bewertung der Einflussfaktoren.....	192
A.3	Legende zur verwendeten UML 2.5 Symbolik .....	194
A.4	Technische Eigenschaften von Bauteilschnittstellen .....	195
A.5	Abbildung der Einflussfaktoren im formalisierten Modell .....	197
A.6	Kommunalitätsaussagen Werte Fallbeispiel 1.....	200



## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2-1: Benennungen von Schnittstellen.....	23
Tabelle 5-1: Bewertung der Einflussfaktoren (Auszug von Tabelle A-2 im Anhang A.2).....	84
Tabelle 5-2: Bildung von Vielfaltsaussagen hinsichtlich der Kommunalität	107
Tabelle 5-3: Bedeutung des Begriffs ‚Konzeptelement‘ in der integrierten Bauteil- und Montagesicht.....	112
Tabelle 5-4: Struktur und Beispiele von technischen Eigenschaften .....	113
Tabelle 5-5: Qualitative Eigenschaften von Fügeverfahren.....	119
Tabelle 5-6: Ermittlung und Bewertung von Gestaltungsmöglichkeiten .....	133
Tabelle 6-1: Ergebnis der Kommunalitätsanalyse (Auszug).....	146
Tabelle 6-2: Anforderungen an die mechanische Bauteilschnittstelle je nach Projektgruppe (Außenspiegel).....	152
Tabelle 6-3: Betrachtete Konzeptelemente des Außenspiegels .....	153
Tabelle 6-4: Gestaltungsmöglichkeiten Außenspiegel (tabellarischer Auszug) .....	155
Tabelle 6-5: Anforderungen an die mechanische Bauteilschnittstelle je nach Projektgruppe (Steuergerät).....	159
Tabelle 6-6: Betrachtete Konzeptelemente der Steuergeräte .....	159
Tabelle 6-7: Eigenschaften der Konzeptelemente der Steuergeräte .....	161
Tabelle 6-8: Gestaltungsmöglichkeiten Steuergerät (tabellarischer Auszug)	162
Tabelle A-1: Einflussfaktoren zur Standardisierungsentscheidung .....	187
Tabelle A-2: Bewertung der Einflussfaktoren hinsichtlich einer Kennzahlenbildung .....	192
Tabelle A-3: Verwendete Technische Eigenschaften/ Anforderungen von Bauteilschnittstellen .....	195

Tabelle A-4: Abbildung der Einflussfaktoren im formalisierten Modell ..... 197

Tabelle A-5: Verwendete Werte Kommunalitätsaussagen Fallbeispiel 1 ..... 200

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1-1: Wissenschaftssystematik .....	5
Abbildung 1-2: Forschungsprozess der vorliegenden Arbeit auf Basis der Strategie angewandter Forschung nach ULRICH .....	6
Abbildung 1-3: Aufbau der Arbeit .....	7
Abbildung 2-1: Zuordnung von Elementen zu Verbindungsbegriffen am Beispiel einer Schraubenverbindung nach VDI 2232.....	11
Abbildung 2-2: Einteilung der festen Verbindungen nach ROTH.....	13
Abbildung 2-3: Plattformkonzept .....	15
Abbildung 2-4: Operationen der Montage .....	16
Abbildung 2-5: Einordnung Verbindungsarten in Anlehnung an HABERHAUER .....	17
Abbildung 2-6: Variantendifferenzierung im Automobilbau nach ZENNER....	19
Abbildung 2-7: Exemplarische Montagelinie der Automobilfabrik .....	20
Abbildung 2-8: Integrative Betrachtung von Bauteilschnittstelle und Montageprozess .....	22
Abbildung 2-9: Die drei Ebenen des Kommunalitätsmodells nach SCHUH ET AL.....	28
Abbildung 2-10: Standardisierung und KVP mit PDCA-Zyklus .....	31
Abbildung 2-11: Historischer Paradigmenwechsel der Produktion.....	32
Abbildung 2-12: Gestaltung standardisierter Bauteilschnittstellen in den Sichten des Kommunalitätsmanagements nach DELLANOI .....	34
Abbildung 2-13: Relevante Unternehmensbereiche der montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen.....	36
Abbildung 2-14: Standardisierungsansätze von Bauteilschnittstellen .....	37
Abbildung 3-1: Bewertung der relevanten Ansätze .....	59

---

Abbildung 4-1: Grobkonzept zur montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....	65
Abbildung 4-2: Identifikation potenzialträchtiger Bauteilschnittstellen-/ Montageprozessumfänge .....	67
Abbildung 4-3: Generische Formalisierung der Entscheidungssituation .....	68
Abbildung 4-4: Ermittlung und Bewertung von Standardisierungsmöglichkeiten .....	69
Abbildung 4-5: Teilmodelle zur montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....	71
Abbildung 5-1: Vorgehensweise zur montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen .....	73
Abbildung 5-2: Identifikation potenzialträchtiger Bauteilschnittstellen-/ Montageprozessumfänge .....	74
Abbildung 5-3: Benennung von Bauteilschnittstellen mittels zugehöriger Bauteile .....	76
Abbildung 5-4: Einflussfaktoren zur Standardisierungsentscheidung .....	80
Abbildung 5-5: Konzept zur Quantifizierung der Variantenvielfalt .....	88
Abbildung 5-6: Ablaufschritte der hierarchischen Clusteranalyse .....	91
Abbildung 5-7: Auswahl des Fusionierungsalgorithmus .....	94
Abbildung 5-8: Clusterbildung und Heterogenitätsmaß im Dendrogramm .....	95
Abbildung 5-9: Konfiguration der Clusteranalyse für die Variantenidentifizierung von Bauteilschnittstellen/ Montageprozessen .....	97
Abbildung 5-10: Ablaufschritte der Variantenerkennung mittels Clusteranalyse .....	97
Abbildung 5-11: Vorgehen zur Auswahl von potenzialträchtigen Bauteilschnittstellen-/ Montageprozessumfängen anhand der Kennzahlen .....	103
Abbildung 5-12: Auswahl potenzialträchtiger Bauteilschnittstellen-/ Montageprozessumfänge mithilfe eines Portfolios .....	105
Abbildung 5-13: Formalisierung der Entscheidungssituation .....	108
Abbildung 5-14: Problem-, Eingriffs- und Lösungsbereich .....	109

Abbildung 5-15: Nummerierung der Verbindungsstellen .....	111
Abbildung 5-16: Konfiguration eines Schnittstellenkonzeptes .....	113
Abbildung 5-17: Klassendiagramm für Bauteilschnittstellen.....	116
Abbildung 5-18: Klassendiagramm für Montageprozesse .....	121
Abbildung 5-19: Formalisierung der Zusammenhänge als Klassendiagramm (vereinfachte Darstellung) .....	122
Abbildung 5-20: Ermittlung und Bewertung von Standardisierungsmöglichkeiten .....	124
Abbildung 5-21: Erweitertes Klassendiagramm zur Abbildung von Standardisierungsmöglichkeiten .....	125
Abbildung 5-22: Algorithmus zur Ermittlung und Bewertung von Gestaltungsmöglichkeiten.....	128
Abbildung 5-23: Algorithmus zur Ermittlung von Konfigurationen .....	129
Abbildung 5-24: Kosten-/ Variantenportfolio zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung.....	135
Abbildung 5-25: Hauptschritte zur montagegerechten Standardisierung von Bauteilschnittstellen.....	136
Abbildung 5-26: Teilschritte zur Ermittlung potenzialträchtiger Bauteilschnittstellenumfänge .....	137
Abbildung 5-27: Teilschritte zur Formalisierung der Entscheidungssituation .....	138
Abbildung 5-28: Teilprozesse zur Ermittlung von Standardisierungsmöglichkeiten .....	139
Abbildung 6-1: Portfolio der Bauteilschnittstellen-/ Montageprozessumfänge.....	147
Abbildung 6-2: Verbindungsstellen des Außenspiegels in Abhängigkeit von verschiedenen Schnittstellenkonzepten.....	152
Abbildung 6-3: Gestaltungsmöglichkeiten Außenspiegel (grafisch) .....	154
Abbildung 6-4: Verbindungsstellen des Steuergerätes und der dazugehörigen Halterungen in Abhängigkeit von verschiedenen Schnittstellenkonzepten .....	158